Journal of Horticultural Science
https://jhs.um.ac.ir

Research Article
Vol. 38, No. 1, Spring 2024, p. 165-177

Effect of Different Concentrations of Salicylic Acid in Increasing Resistance to Heat Stress in Cucumber (*Cucumis sativa* var. Rashid)

L. Cheheltanan[1], S. Khosravi[2*], H. Nemati[3]

1, 2 and 3- Ph.D. Students and Assistant Professor, Department of Horticultural Science and Landscape, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran, respectively.
(*- Corresponding Author Email: saeedkhosravi0938@gmail.com)

Received: 26-06-2023 Revised: 01-11-2023 Accepted: 06-11-2023 Available Online: 06-11-2023	**How to cite this article:** Cheheltanan, L., Khosravi, S., & Nemati, H. (2024). Effect of different concentrations of salicylic acid in increasing resistance to heat stress in cucumber (*Cucumis sativa* var. rashid). *Journal of Horticultural Science, 38*(1), 165-177. (In Persian with English abstract). https://doi.org/10.22067/jhs.2023.82087.1263

Introduction

Grasses are narrow-leaved plants that are used as cover plants in landscape. These plants are one of the basic and necessary components of the green cover of most gardens, parks and as the background color of landscape. In Iran, due to the high costs of planting and management of grass, high water requirements, climatic incompatibility and damage to water and soil salinity, it is recommended to remove from the green space in some cities, especially in areas with low water and water and soil saline. If it is possible to benefit from the role and influence of these plants by observing the technical points and choosing the best species for each area. Salinity stress is the second limiting factor for the growth of plants in the world after drought, which affects the efficiency and performance of plants. Increase in salinity causes a decrease in the water potential in the soil. In this condition, the plant spends most of its energy to maintain the water potential, cell mass, and water absorption to have minimal growth. The aim of this research is the effect of external application of glycine betaine on the accumulation of osmolality compounds and the antioxidant system of sports grass under salt stress.

Materials and Methods

This research was done in factorial form in completely randomized design with 3 replications on Rashid variety cucumber. The factors included 4 levels of temperature (25, 30, 35 and 40 degrees Celsius) and 3 levels of salicylic acid (0, 0.5 and 1 mM). When the seedlings reached the two-leaf stage, they were sprayed with different concentrations of salicylic acid two times with an interval of five days. One week after the application of salicylic acid, temperature treatment was gradually applied. After applying each heat treatment, the corresponding pots were transferred to the greenhouse with a temperature of 25 degrees Celsius. Then, fresh and dry weight of root and shoot, leaf surface, chlorophyll index, electrolyte leakage, proline, polyphenol oxidase enzyme activity and superoxide dismutase enzyme activity were measured.

Results and Discussion

The results showed that salinity stress decreased all the study morphological, physiological and biochemical parameters including plant height, shoot fresh and dry weight, number of tiller, leaf area, chlorophyll content, protein and total antioxidant capacity in the studied plants. It also increased peroxidase enzyme, H_2O_2 and proline in plants, but glycine betaine application significantly improved the morpho-physiological characteristics of plants compared to the control under salt stress conditions. Thus, the highest height, shoot fresh and dry weight, leaf area, number of tiller, chlorophyll content, and protein and antioxidant capacity were observed in plants sprayed with glycine betaine. Also, the highest content of glycine betaine and activity of catalase and peroxidase enzymes and

https://doi.org/10.22067/jhs.2023.82087.1263

the lowest content of glycine betaine and H_2O_2 were observed in in plants sprayed with glycine betaine and 10 mM glycine betaine was more effective than 5 mM. The occurrence of salinity in plants disrupts the absorption of ions and causes the reduction of nutrients and increases sodium ions. One of the effects of salinity in plants is the reduction of photosynthetic activity, which results in the reduction of chlorophyll, carbon dioxide absorption, photosynthetic capacity, plant height, shoot fresh and dry weight, number of tiller and leaf area. One of the most strategies to deal with stress is accumulation of osmolyte and increasing the antioxidant activity, which makes plants resistant to environmental stresses. Salinity, through the toxic effect of Na^+ and Cl^- ions, affects the growth and performance of the plant by reducing the soil water potential, disrupting water absorption and imbalance of nutrients in the plant. The results obtained from comparing the average results of glycine betaine show that glycine betaine increased plant height, shoot fresh and dry weight, number of tiller, leaf area, chlorophyll content, total protein and antioxidant capacity, but on the other hand, it increased proline and H_2O_2 decreased, which is due to the accumulation of glycine betaine as a protector in plants under salt stress conditions. In stress conditions, glycine betaine can protect photosynthetic activities including photosynthetic enzymes, proteins and lipids in thylakoid membranes in the combination of photosystem II, and also the task of protecting cell membranes against osmotic stresses in the plant.

Conclusion

The results obtained from this research showed that salinity stress reduced all the morphological, physiological and biochemical characteristics in the sport grass plants, but glycine betaine application played a positive role in reducing salinity damage and maintaining plant quality. Glycine betaine is known as one of the effective molecules in stress signaling, so it can protect the plant cells against stress by reducing the destruction of the membrane and by increasing the salt tolerance mechanisms. Also, glycine betaine 10 mM is introduced as the best treatment to reduce salinity damage in sport grass during present study.

Keywords: Cucumber, Electrolyte leakage, Heat Stress, Proline, Superoxide dismutase

نشریه علوم باغبانی
https://jhs.um.ac.ir

مقاله پژوهشی
جلد ۳۸، شماره ۱، بهار ۱٤۰۳، ص. ۱۷۷-۱٦٥

اثر غلظت‌های مختلف سالیسیلیک اسید در افزایش مقاومت به تنش گرما در خیار رقم ُرشید‘

لیلا چهل‌تنان[1]- سعید خسروی[2]*- حسین نعمتی[3]

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۰۴/۰۵
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۰۸/۱۵

چکیده

دمای بالا در تابستان از عوامل مهم کاهش رشد و عملکرد خیار در بسیاری از مناطق کشور می‌باشد. با توجه به تأثیر مثبت تنظیم‌کننده‌های رشد گیاهی از جمله سالیسیلیک اسید بر کاهش اثرات نامطلوب تنش‌های مختلف، آزمایشی به‌منظور بررسی اثر سالیسیلیک اسید بر کاهش اثرهای نامطلوب تنش گرما بر روی دانهال‌های خیار رقم ُرشید‘ به‌صورت فاکتوریل و در قالب طرح کاملا تصادفی با چهار تیمار دمایی (۲۵، ۳۰، ۳۵ و ۴۰ درجه سانتی‌گراد) و سه غلظت سالیسیلیک اسید (صفر، ۰/۵ و ۱ میلی‌مولار) در گلخانه دانشکده کشاورزی دانشگاه فردوسی مشهد طراحی و بررسی شد. نتایج نشان داد تنش گرمایی وزن تر و خشک اندام هوایی و ریشه، سطح برگ، شاخص کلروفیل و پلی‌فنل اکسیداز را کاهش و مقدار نشت یونی، پرولین و فعالیت آنزیم سوپراکسید دیسموتاز را افزایش داد. کاربرد ۱ میلی‌مولار سالیسیلیک اسید باعث کاهش اثرهای منفی تنش دمایی شد، به‌نحوی‌که سبب افزایش وزن خشک ریشه، وزن تر و خشک اندام هوایی به‌ترتیب به میزان ۳۶، ۱۶/۴ و ۲۳/۷ درصد نسبت به شاهد و همچنین کاهش نشت یونی به میزان ۱۳ درصد و افزایش شاخص کلروفیل، سطح برگ، میزان پرولین، فعالیت آنزیم‌های پلی‌فنل اکسیداز و سوپراکسید دیسموتاز به‌ترتیب به میزان ۹/۷، ۲، ۳۷/۷، ۳۵/۶ و ۳۱/۵۱ درصدی نسبت به شاهد شد. اثرات متقابل سالیسیلیک اسید و تنش گرما بر وزن تر ساقه، شاخص کلروفیل، سطح برگ، نشت یونی، پرولین، فعالیت آنزیم‌های پلی‌فنل اکسیداز و سوپراکسید دیسموتاز معنی‌دار بود. بطور کلی بهترین نتایج مربوط به کاربرد ۱ میلی‌مولار سالیسیلیک اسید بود که به طور معنی‌داری سبب کاهش اثرات منفی تنش گرمایی بر خیار رقم ُرشید‘ شد.

واژه‌های کلیدی: پرولین، تنش گرما، خیار، سوپراکسید دیسموتاز، نشت یونی

مقدمه

گیاهان در طول دوره رشد و توسعه خود با تنش‌های متعدد غیرزنده از جمله دمای بالا و پایین، خشکی و شوری مواجه می‌شوند. دمای بالا یکی از تنش‌های مهم غیرزنده است که نه تنها سبب کاهش عملکرد و کیفیت محصولات می‌شود بلکه باعث آسیب مستقیم به گیاهان از جمله دناتوره شدن پروتئین، افزایش رادیکال‌های آزاد اکسیژن و پراکسیداسیون لیپیدها می‌شود (Bingwei *et al*., 2018).

خیار (*Cucumis sativus* L.) یک از محصولات مهم مناطق نیمه‌گرمسیری است که کشت و تولید آن در سراسر دنیا صورت می گیرد. به‌عنوان یک محصول گرماگرا دمای مطلوب برای رشد خیار ۳۰-۲۰ درجه سانتی‌گراد می‌باشد. دماهای بالاتر از ۳۵ درجه سانتی‌گراد اغلب منجر به آسیب‌های حرارتی، پژمردگی و خم‌شدگی برگ و ساقه می‌شود و دوره‌های دمایی کوتاه، بالاتر از ۵۰ درجه سانتی‌گراد منجر به مرگ بافت‌ها می‌شود. به‌طور کلی تنش گرمایی یک تهدید قابل توجه برای رشد و توسعه خیار می‌باشد که بر عملکرد و کیفیت آن در طول تابستان تأثیر می‌گذارد (Hongal *et al*., 2023). در خیار تنش دمایی (۴۰ درجه سانتی‌گراد) سبب افزایش پراکسید هیدروژن، پراکسیداسیون لیپید و نشت یونی شد (Shi *et al*., 2006). در پژوهش دیگری که توسط دینگ و همکاران (Ding *et al*., 2016) انجام شد تنش گرما سبب افزایش پرولین، تعرق و فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی در خیار

۱، ۲ و ۳- به‌ترتیب دانشجویان دکتری و استادیار، گروه علوم باغبانی و مهندسی فضای سبز دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران
(*- نویسنده مسئول: Email: saeedkhosravi0938@gmail.com)

https://doi.org/10.22067/jhs.2023.82087.1263

شد. در گوجه‌فرنگی (*Solanum lycopersicum* L.) تنش دمایی (۴۲ درجه سانتی‌گراد) سبب افزایش پراکسید هیدروژن و نشت یونی و همچنین کاهش عملکرد دستگاه فتوسنتزی شد (Jahan *et al.*, 2019). در ایران معمولا دمای هوا در فصل تابستان در بسیاری از مناطق کشت و کار خیار بالا است و همین عامل سبب کاهش رشد و عملکرد گیاه می‌شود (Baninasab & Ghobadi, 2011).

سالیسیلیک اسید به‌عنوان یک تنظیم‌کننده رشد گیاهی شناخته می‌شود که دارای یک حلقه آروماتیکی با یک گروه هیدروکسیل می باشد که به گروه ترکیبات فنولی تعلق دارد. سالیسیلیک اسید باعث کاهش صدمات اکسیداتیو ناشی از تولید بیش از حد گونه‌های فعال اکسیژن، افزایش فتوسنتز، رنگدانه‌های کلروفیل و تنظیم روزنه می‌شود. بررسی فرآیندهای فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی نشان می‌دهد که سالیسیلیک اسید باعث افزایش مولکول‌های سیگنال‌دهنده، آنتی‌اکسیدان‌های آنزیمی و غیر آنزیمی، اسمولیت‌ها و متابولیت‌های ثانویه در بخش‌های مختلف گیاهان می‌شود. مطالعات نشان می‌دهد کاربرد سالیسیلیک اسید حتی در مقادیر ناچیز باعث بهبود عملکرد محصولات باغی می‌شود (Chen *et al.*, 2023). مکانیسم عمل سالیسیلیک اسید در برابر تنش‌ها به نقش آن در تنظیم آنزیم‌های آنتی اکسیدانتی و ترکیبات دارای گونه‌های فعال اکسیژن برمی‌گردد (Khan *et al.*, 2003). کاربرد سالیسیلیک اسید در دانهال‌های خیار تحت تنش خشکی سبب افزایش شاخص کلروفیل، تعداد برگ، سطح برگ، ارتفاع گیاه، وزن خشک شاخساره و ریشه نسبت به شاهد گردید (Bayat *et al.*, 2011). طبق گزارشات سالیسیلیک اسید از طریق جلوگیری از تخریب کلروپلاست و افزایش ظرفیت انتقال الکترون توسط فتوسیستم IIباعث افزایش فتوسنتز می‌شود (Shakirova *et al.*, 2003). مکانیسم دیگر این است که سالیسیلیک اسید با افزایش هدایت روزنه‌ای و افزایش انتشار دی‌اکسید کربن به درون برگ سبب افزایش فتوسنتز می‌گردد (Khan *et al.*, 2003). استفاده از سالیسیلیک اسید به‌صورت محلول‌پاشی برگی بر روی خیار موجب القای مقاومت به گرما و کاهش نشت یونی، پراکسید هیدروژن و پراکسیداسیون گردید (Shi *et al.*, 2006). به‌طور کلی سالیسیلیک اسید با افزایش فعالیت‌های آنتی‌اکسیدانی و پروتئین سبب افزایش مقاومت گیاهان به تنش‌های غیرزنده می‌شود (Preet *et al.*, 2023). یوردانوا و پوپووا (Yordanova & Popova, 2007) گزارش کردند که استفاده از سالیسیلیک اسید تنها به‌مدت ۲۴ ساعت قبل از تیمار سرمایی، از فعالیت آنزیم روبیسکو، میزان کلروفیل و آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانت محافظت می‌کند. غلظت ۱ میلی‌مولار سالیسیلیک اسید در دانهال‌های خیار باعث افزایش محتوای نسبی آب برگ، قطر ساقه، تعداد برگ و کلروفیل در شرایط تنش شوری شد (Yildirim *et al.*, 2008). استفاده از سالیسیلیک اسید از طریق افزایش تقسیم سلولی مریستم انتهایی سبب افزایش رشد و عملکرد گیاه می‌شود (Shakirova *et al.*, 2003). در خیار کاربرد سالیسیلیک اسید با کاهش نشت یونی و کاهش آسیب غشایی سبب کاهش اثرات سوء ناشی از تنش سرمایی شد (Orabi *et al.*, 2010). در گوجه‌فرنگی سالیسیلیک اسید با افزایش فعالیت فتوسنتزی و بهبود عملکرد آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان سبب افزایش تحمل به گرما شد (Jahan *et al.*, 2019).

دمای بالا رشد و عملکرد خیار را تحت تأثیر قرار می‌دهد از طرفی منابع ژنتیکی متحمل به درجه حرارت بالا در این محصول بسیار کم است بنابراین یافتن راهکاری جهت افزایش تحمل به دمای بالا در این گیاهان بسیار ضروری است (Bingwei *et al.*, 2018). با توجه به نقش مثبت سالیسیلیک اسید در افزایش مقاومت در برابر تنش دمای بالا در گیاهان، در این تحقیق از سالیسیلیک اسید به‌منظور کاهش اثر منفی تنش دمای بالا بر خیار رقم 'رشید' استفاده شد.

مواد و روش‌ها

این پژوهش در گلخانه دانشکده کشاورزی دانشگاه فردوسی مشهد به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملا تصادفی با ۳ تکرار بر روی خیار رقم 'رشید' انجام گرفت. فاکتورها شامل ۴ سطح دما (۲۵، ۳۰، ۳۵ و ۴۰ درجه سانتی‌گراد) و ۳ سطح سالیسیلیک اسید (صفر، ۰/۵ و ۱ میلی مولار) بود. در فروردین‌ماه بذرهای خیار رقم 'رشید' تهیه و در گلدان‌های سایز ۶ با مخلوطی از کوکوپیت، پیت‌ماس و خاک به نسبت ۱:۱:۱ کشت شدند (در هر گلدان سه عدد بذر کشت شد که پس از جوانه‌زنی یک دانهال حفظ و بقیه حذف شد) و به گلخانه با نور طبیعی و دمای روزانه ۲۵ و شبانه ۱۹ درجه سانتی‌گراد منقل شدند. وقتی دانهال‌ها به مرحله دو برگی رسیدند (سه هفته پس از کشت بذور) با غلظت‌های مختلف سالیسیلیک اسید صفر (شاهد)، ۰/۵ و ۱ میلی‌مولار در دو نوبت به فاصله پنج روز و تا مرحله قطره‌ریزان محلول‌پاشی شدند. یک هفته پس از کاربرد سالیسیلیک اسید تیمار دمایی به‌صورت تدریجی اعمال شد، بدین منظور ابتدا تمامی گلدان‌ها به جز شاهد ۱۲ ساعت در دمای ۳۰ درجه سانتی‌گراد در داخل انکوباتور قرار گرفتند، سپس تیمارهای ۳۵ و ۴۰ درجه سانتی‌گراد ۱۲ ساعت در دمای ۳۵ درجه سانتی‌گراد قرار گرفته و در نهایت تنها تیمار ۴۰ درجه سانتی‌گراد ۱۲ ساعت در دمای ۴۰ درجه سانتی‌گراد در داخل انکوباتور قرار گرفت. پس از اعمال هر تیمار گرمایی گلدان‌های مربوطه به گلخانه با دمای روزانه ۲۵ و شبانه ۱۹ درجه سانتی‌گراد و ۱۲ ساعت روشنایی با نور طبیعی منتقل و ۲۴ ساعت پس از پایان تیمار دمایی اندازه‌گیری صفات انجام گرفت.

سطح برگ (توسط دستگاه Leaf Area Meter) و اندازه‌گیری شاخص کلروفیل برگ توسط دستگاه کلروفیل‌سنج دستی (مدل-CL

Hansateach Instruments 01 ساخت انگلستان) انجام گرفت. ساقه و ریشه جدا شده و وزن تر آن‌ها با ترازوی دیجیتال اندازه‌گیری شد، سپس ۴۸ ساعت در دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد قرار گرفته و وزن خشک آن‌ها با ترازوی دیجیتال اندازه‌گیری شد همچنین درصد وزن تر و خشک ریشه به وزن تر و خشک اندام هوایی نیز محاسبه شد. میزان پرولین برگ بر اساس روش بتیس و همکاران (Bates *et al*., 1996) در طول موج ۵۲۰ نانومتر توسط دستگاه اسپکتروفتومتر اندازه‌گیری شد. اندازه‌گیری میزان نشت یونی بر طبق روش لاتس و همکاران (Lutts *et al*., 1996) صورت گرفت، به این منظور دو قطعه یک سانتی‌متری از برگ‌های جوان کاملا توسعه یافته به‌مدت ۱۲ ساعت در ۲۵ سی‌سی آب دیونیزه قرار داده شد پس از آن میزان هدایت الکتریکی محلول (Lt) توسط دستگاه سنجش هدایت الکتریکی اندازه‌گیری گردید سپس به‌مدت بیست دقیقه درون اتوکلاو در دمای ۱۲۰ درجه سانتی‌گراد قرار گرفت و مجددا هدایت الکتریکی نمونه‌ها اندازه‌گیری شد (Lo). در ادامه درصد نشت یونی با استفاده از فرمول زیر محاسبه گردید.

درصد نشت یونی =[Lt/Lo]×۱۰۰

برای اندازه‌گیری فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی ابتدا ۰/۱ گرم از بافت برگ ساییده شد سپس یک میلی‌لیتر بافر استخراج به آن افزوده شد و ۲۰ دقیقه در ۱۵۰۰۰ دور در دقیقه و در دمای۴ درجه سلسیوس سانتریفیوژ شد و از محلول شفاف رویی برای سنجش فعالیت آنزیم‌ها استفاده شد، برای سنجش فعالیت آنزیم سوپراکسید دیسموتاز به عصاره آنزیمی بافر فسفات عمومی، ریبوفلاوین، متیونین و NBT افزوده و جذب آن با استفاده از دستگاه اسپکتروفتومتر در طول موج ۵۶۰ نانومتر بر حسب واحد بر گرم وزن تازه محاسبه شد (Giannopolitis & Ries, 1997). برای سنجش فعالیت آنزیم پلی فنل‌اکسیداز به عصاره آنزیمی، بافر فسفات عمومی، گایاکول و آب اکسیژنه افزوده شد و میزان جذب در طول موج ۴۲۰ نانومتر با استفاده از دستگاه اسپکتروفتومتر قرائت شد (Soliva *et al*., 2001).

تجزیه داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار Statistix8 تجزیه آماری شدند و میانگین‌ها توسط آزمون حداقل اختلاف معنی‌دار (LSD) در سطح احتمال پنج درصد مقایسه شدند.

نتایج و بحث

وزن تر و خشک اندام هوایی: نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثر دما بر وزن تر و خشک اندام هوایی در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود. تأثیر سالیسیلیک اسید نیز بر وزن تر و خشک اندام هوایی به‌ترتیب در سطح احتمال پنج و یک درصد معنی‌دار بود اما اثرات متقابل دما و سالیسیلیک اسید فقط بر وزن تر اندام هوایی در سطح احتمال پنج درصد معنی‌دار بود (جدول ۱).

مقایسه میانگین‌ها نشان داد، با افزایش دما وزن تر و خشک اندام هوایی کاهش یافت که بیشترین کاهش مربوط به دمای ۴۰ درجه سانتی‌گراد بود.

جدول ۱- تجزیه واریانس اثر غلظت‌های مختلف سالیسیلیک اسید بر خصوصیات مورفولوژیکی دانهال‌های خیار رقم 'رشید' تحت تنش دمایی

Table 1- The ANOVA for the effect of different concentrations of salicylic acid on the morphological traits of cucumber seedling cv. Rashid under temperature stress

منابع تغییرات S.O.V	درجه آزادی Df	میانگین مربعات Mean squares وزن تر اندام هوایی Shoot fresh weight	وزن خشک اندام هوایی Shoot dry weight	وزن تر ریشه Root fresh weight	وزن خشک ریشه Root dry weight	درصد وزن خشک ریشه به وزن خشک اندام هوایی Root / Shoot dry weight Pprcentage	درصد وزن تر ریشه به وزن تر اندام هوایی Root / Shoot fresh weight Percentage
دما Temperature	3	7.02**	0.0600**	1.95**	0.0400**	805.788**	57.766nd
سالیسیلیک اسید Salicylic acid	2	1.05*	0.0350**	0.50 ns	0.0060*	81.071ns	91.660ns
دما× سالیسیلیک اسید Temperature× Salicylic acid	6	0.63*	0.0009 ns	0.01 ns	0.0003 ns	17.716ns	114.345ns
خطا Error	24	0.24	0.0050	0.19	0.0010	60.254	106.873
ضریب تغییرات C.V (%)	-	12.47	18.11	24.83	23.1	19.39	23.36

ns، ** و * به‌ترتیب عدم معنی‌داری، و معنی‌دار در سطح احتمال ۱ و ۵ درصد.

ns, ** and *: non-significant, and significant at $p \leqslant 0.01$ and $p \leqslant 0.05$, respectively.

کاربرد سالیسیلیک اسید در غلظت ۱ میلی‌مولار منجر به افزایش به‌ترتیب ۱۶/۴ و ۲۳/۷ درصدی وزن تر و خشک اندام هوایی نسبت به تیمار شاهد شد اما بین تیمار ۰/۵ میلی‌مولار سالیسیلیک اسید و شاهد اختلاف معنی‌داری وجود نداشت (جدول ۲). اثرات متقابل دما و کاربرد سالیسیلیک اسید نشان داد کاربرد ۱ میلی‌مولار سالیسیلیک اسید در دمای ۳۵ درجه سانتی‌گراد سبب افزایش ۲۹/۵ درصدی و در دمای ۴۰ درجه سانتی‌گراد سبب افزایش ۱/۹ برابری وزن تر اندام هوایی نسبت به تیمار شاهد مربوطه شد (جدول ۲).

وزن تر و خشک ریشه: نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثر دما بر وزن تر و خشک ریشه در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود درحالی‌که کاربرد سالیسیلیک اسید فقط بر وزن خشک ریشه تأثیر معنی‌داری در سطح احتمال پنج درصد داشت، همچنین برهمکنش دما و سالیسیلیک اسید تأثیر معنی‌داری بر این شاخص‌ها نداشت (جدول ۱). مقایسه میانگین داده‌های مربوط به وزن خشک ریشه نشان داد بین تیمار ۰/۵ میلی‌مولار سالیسیلیک اسید و شاهد اختلاف معنی‌داری وجود نداشت، اما غلظت ۱ میلی‌مولار سالیسیلیک اسید با اختلاف معنی‌داری نسبت به شاهد (۳۶ درصد) وزن خشک ریشه را افزایش داد (جدول ۲).

درصد وزن تر و خشک ریشه به وزن تر و خشک اندام هوایی: نتایج تجزیه واریانس بیانگر تأثیر معنی‌دار دما بر درصد وزن خشک ریشه به وزن خشک اندام هوایی در سطح احتمال یک درصد می‌باشد درحالی‌که دما تأثیر معنی‌داری بر درصد وزن تر ریشه به وزن تر اندام هوایی نداشت همچنین کاربرد سالیسیلیک اسید و اثر متقابل دما و سالیسیلیک اسید تأثیر معنی‌داری بر درصد وزن تر و خشک ریشه به وزن تر و خشک اندام هوایی نداشت (جدول ۱). بررسی نتایج مقایسه میانگین نشان داد با افزایش دما درصد وزن خشک ریشه به وزن خشک اندام هوایی به‌طور معنی‌داری کاهش یافت به گونه‌ای که دمای ۴۰ درجه سانتی‌گراد درصد سبب کاهش ۳۷ درصدی وزن خشک ریشه به وزن خشک اندام هوایی نسبت به تیمار شاهد شد (جدول ۲).

نتایج بدست آمده از این پژوهش نشان داد که دمای بالا باعث کاهش ویژگی‌های مورفولوژیکی گیاه خیار مانند وزن تر و خشک اندام هوایی و ریشه و درصد وزن خشک ریشه به وزن خشک اندام هوایی شد. تنش دمای بالا سبب کاهش اندازه سلول و در نتیجه تغییر فعالیت های متابولیکی و کاهش رشد گیاه شده و با کاهش تولید فراورده‌های فتوسنتزی سبب کاهش عملکرد گیاه می‌شود (Hasanuzzaman *et al*., 2013). دمای بالا در فلفل (*Capsicum annuum* L.) نیز سبب کاهش وزن تر ریشه، وزن تر و خشک اندام هوایی شد که با نتایج پژوهش حاضر همسو است (Taheri & Haghighi, 2018). نتیجه پژوهش‌ها نشان می‌دهد کاربرد سالیسیلیک اسید سبب بهبود روند رشدی گیاه می‌شود. کاربرد سالیسیلیک اسید در توت‌فرنگی (*Fragaria ananassa*) در شرایط تنش شوری سبب افزایش وزن خشک برگ شد (Samadi *et al*., 2018). کاربرد ۱ میلی‌مولار سالیسیلیک اسید در توت‌فرنگی تحت تنش شوری سبب افزایش وزن تر و خشک شاخساره و ریشه شد (Karlidag *et al*., 2009). در خیار نیز کاربرد ۱ میلی‌مولار سالیسیلیک اسید سبب افزایش وزن تر و خشک ساقه و ریشه در شرایط تنش شوری شد (Yildirim *et al*., 2008). براساس نتیجه‌های به‌دست آمده از این پژوهش غلظت ۰/۵ میلی‌مولار سالیسیلیک اسید از نظر فاکتورهای مورد بررسی تفاوت معنی‌داری با شاهد نداشت و می‌توان نتیجه‌گیری کرد که غلظت بالاتر سالیسیلیک اسید (۱ میلی‌مولار) غلظت مناسب‌تری برای تأثیر بر فاکتورهای مورد بررسی هست. تأثیر مثبت سالیسیلیک بر رشد می‌تواند به دلایلی چون افزایش میزان تقسیم سلولی در مناطق مریستمی و یا افزایش مقدار اکسین باشد (Shakirova *et al*., 2003).

سطح برگ: نتایج تجزیه واریانس نشان داد تأثیر دما، کاربرد سالیسیلیک اسید و اثرات متقابل دما و سالیسیلیک اسید بر سطح برگ دانهال‌های خیار در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۳). مقایسه میانگین‌ها نشان داد دماهای بالا (۳۵ ۴۰ درجه سانتی‌گراد) سبب کاهش معنی‌دار سطح برگ شد، همچنین کاربرد سالیسیلیک اسید تنها در غلظت ۱ میلی‌مولار سبب افزایش معنی‌دار سطح برگ نسبت به شاهد شد که این افزایش ۱/۲ درصد بود. اثرات متقابل دما و کاربرد سالیسیلیک اسید نشان داد کاربرد سالیسیلیک اسید در غلظت ۱ میلی مولار در دمای ۴۰ درجه سانتی‌گراد سبب افزایش ۳/۶ درصدی سطح برگ نسبت به شاهد مربوط به خود شد (جدول ۴). در تأیید نتایج حاضر تیمار گیاهان کاهو و بادمجان با سالیسیلیک اسید به‌ترتیب سبب افزایش ۷۶ و ۵۴ درصدی سطح برگ در شرایط تنش شوری شد (Sousa *et al*., 2022; Kusvuran & Yilmaz, 2023).

شاخص کلروفیل: نتایج تجزیه واریانس بیانگر تأثیر معنی‌دار دما، سالیسیلیک اسید و همچنین اثرات متقابل دما و سالیسیلیک اسید بر کلروفیل برگ بود (جدول ۳). مقایسه میانگین‌ها نشان داد با افزایش دما کلروفیل برگ کاهش یافت به گونه‌ای که دمای ۴۰ درجه سانتی‌گراد سبب کاهش ۲۹/۳ درصدی کلروفیل برگ نسبت به شاهد شد.

جدول ۲- اثر غلظت‌های مختلف سالیسیلیک اسید بر خصوصیات مورفولوژیکی دانهال‌های خیار رقم 'رشید' تحت تنش دمایی

Table 2- The effect of different concentrations of salicylic acid on the morphological characteristics of cucumber seedling cv. Rashid under temperature stress

سالیسیلیک اسید Salicylic acid (mM)	دما Temperature (°C) 25	30	35	40	میانگین Mean
	وزن تر اندام هوایی Shoot fresh weigh (g)				
0	4.80 a	4.73 a	3.23 de	1.90 f	3.66 B
0.5	4.60 ab	4.46 ab	3.86 b-d	2.93 e	3.96 AB
1	4.50 ab	4.80 a	4.17 a-c	3.56 c-e	4.26 A
میانگین Mean	4.63 A	4.67 A	3.75 B	2.80 C	
	وزن خشک اندام هوایی Shoot dry weight (g)				
0	0.44 abc	0.42 abc	0.40 abc	0.25 de	0.38 B
0. 5	0.45 abc	0.42 abc	0.35 cde	0.24 e	0.37B
1	0.51 a	0.50 a	0.47 ab	0.37 bcd	0.47 A
میانگین Mean	0.47 A	0.45 A	0.41 A	0.29 B	
	وزن تر ریشه Root fresh weight (g)				
0	2.07 a-d	1.81 a-d	1.45 c-e	0.96 e	1.57 B
0. 5	2.23 ab	1.91 a-d	1.53 b-e	1.01 e	1.67 AB
1	2.35 a	2.17 a-c	1.93 a-d	1.43 de	1.97 A
میانگین Mean	2.22 A	1.97 AB	1.64 B	1.14 C	
	وزن خشک ریشه Root dry weight (g)				
0	0.20 ab	0.19 ab	0.12 cd	0.07 d	0.14 B
0. 5	0.23 ab	0.21 ab	0.12 cd	0.07 d	0.16 AB
1	0.24 a	0.23 ab	0.17 bc	0.12 cd	0.19 A
میانگین Mean	0.23 A	0.21 A	0.13 B	0.09 C	
	درصد وزن خشک ریشه به وزن خشک اندام هوایی Root to Shoot dry weight percentage				
0	45.60a-c	46.63a-c	29.48e	27.89e	37.40A
0. 5	52.43a	52.14a	33.96c-e	31.85de	42.59A
1	47.61ab	44.57a-d	36.21b-e	31.94de	40.08A
میانگین Mean	48.54A	47.48A	33.22B	30.56B	

در هر ستون میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشترک بر مبنای آزمون LSD در سطح احتمال ۵ درصد معنی‌دار نیستند.

In each column means with the same letter are not significantly different at 5% of probability level based on LSD test.

کاربرد سالیسیلیک اسید فقط در غلظت ۱ میلی‌مولار تأثیر معنی داری بر افزایش کلروفیل برگ داشت و تیمار ۰/۵ میلی‌مولار تفاوت معنی‌داری با شاهد نداشت. اثرات متقابل دما و کاربرد سالیسیلیک اسید نشان داد بیشترین میزان کلروفیل برگ در دمای ۴۰ درجه سانتی‌گراد مربوط به غلظت ۱ میلی‌مولار سالیسیلک اسید بود (جدول ۴). در توافق با این نتایج، در گوجه‌فرنگی (Jahan *et al*., 2019) و خیار (Hongal *et al*., 2023) دمای بالا سبب کاهش کلروفیل شد. همچنین کاربرد سالیسیلیک اسید در گیاهان گوجه‌فرنگی (Jahan *et al*., 2019) تحت تنش گرمایی و در خیار (Yildirim *et al*., 2008) در شرایط تنش شوری موجب افزایش کلروفیل شد.

جدول ۳- تجزیه واریانس اثر غلظت‌های مختلف سالیسیلیک اسید بر خصوصیات فیزیولوژیکی دانهال‌های خیار رقم 'رشید' تحت تنش دمایی

Table 3- The ANOVA for the effect of different concentrations of salicylic acid on the physiological traits of cucumber seedling cv. Rashid under temperature stress

منابع تغییرات S.O.V	درجه آزادی Df	میانگین مربعات Mean squares سطح برگ Leaf area	شاخص کلروفیل Chlorophyll index	نشت یونی Electrolyte leakage
دما Temperature	3	4804.96**	28.94**	370.09**
سالیسیلیک اسید Salicylic acid	2	390.03**	4.60**	39.60**
دما× سالیسیلیک اسید Temperature× Salicylic acid	6	307.99**	1.37**	13.08**
خطا Error	24	45.50	0.31	3.03
ضریب تغییرات C.V (%)	-	0.75	4.55	7.31

ns، ** و * به‌ترتیب عدم معنی‌داری، و معنی‌دار در سطح احتمال ۱ و ۵ درصد.

ns, ** and *: non-significant, and significant at $p\leq0.01$ and $p\leq0.05$, respectively.

نشت یونی برگ: نتایج تجزیه واریانس نشان داد دما، کاربرد سالیسیلیک اسید و اثرات متقابل دما و سالیسیلیک اسید تأثیر معنی‌داری در سطح احتمال یک درصد بر میزان نشت یونی برگ داشت (جدول ۳). نتایج مقایسه میانگین نشان داد افزایش دما سبب افزایش معنی‌دار نشت یونی برگ‌ها شد، دمای ۴۰ درجه سانتی‌گراد سبب افزایش حدود ۱/۵ برابری نشت یونی برگ نسبت به تیمار شاهد شد. بین تیمار ۰/۵میلی‌مولار سالیسیلیک اسید و شاهد اختلاف معنی‌داری وجود نداشت، اما تیمار ۱ میلی‌مولار سالیسیلیک اسید سبب کاهش معنی‌دار نشت یونی برگ شد به‌طوری‌که این کاهش نسبت به شاهد حدود ۱۳ درصد بود. اثرات متقابل دما و کاربرد سالیسیلیک اسید نشان داد کاربرد ۱ میلی‌مولار سالیسیلیک اسید در دمای ۴۰ درجه سانتی‌گراد نشت یونی برگ را نسبت به شاهد حدوداً ۴۰ درصد کاهش داد (جدول ۴).

تنش گرمایی ممکن است سبب تولید گونه‌های فعال اکسیژن و آسیب سلولی شود، گونه‌های فعال اکسیژن با پراکسیداسیون لیپیدهای غشاء و افزایش سیالیت غشاء سبب افزایش نشت یونی می‌شوند (Khan *et al.*, 2003). طبق پژوهش‌های پیشین افزایش دما سبب افزایش نشت یونی در گوجه‌فرنگی (Jahan *et al.*, 2019) و فلفل (Taheri & Haghighi, 2018) شد. با این حال کاربرد ۱ میلی‌مولار سالیسیلیک اسید سبب کاهش میزان نشت یونی برگ شد، در همین راستا شی و همکاران (Shi *et al.*, 2006) نیز گزارش کردند که اسپری برگی دانهال‌های خیار با غلظت ۱ میلی‌مولار سالیسیلیک سبب کاهش معنی‌دار نشت یونی و محافظت از گیاه در شرایط تنش گرمایی شد. در ارتباط با تأثیر مثبت سالیسیلیک اسید بر میزان نشت یونی گزارش شده است که سالیسیلیک اسید با کاهش فعالیت گونه‌های فعال اکسیژن، از طریق افزایش فعالیت آنزیم‌های اکسیدانی از تخریب غشا توسط این گونه‌ها و افزایش نشت یونی جلوگیری می‌کند (Prasad, 1997). کاربرد سالیسیلیک اسید در بادمجان (Sousa *et al.*, 2022)، خیار (Yildirim *et al.*, 2008)، توت‌فرنگی (Karlidag *et al.*, 2009) تحت تنش شوری، فلفل (Amirinejad *et al.*, 2017) تحت تنش شوری و قلیائیت و گوجه‌فرنگی (Jahan *et al.*, 2019) تحت تنش گرما موجب کاهش نشت یونی شد.

پرولین: نتایج تجزیه واریانس نشان داد تأثیر دما و کاربرد سالیسیلیک اسید بر میزان پرولین برگ در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود. اثرات متقابل دما و سالیسیلیک اسید نیز بر میزان پرولین برگ در سطح احتمال پنج درصد معنی‌داری بود (جدول ۵). مقایسه میانگین‌ها نشان داد بیشترین میزان پرولین برگ مربوط به دمای ۳۵ درجه سانتی‌گراد بود که سبب افزایش ۳۸ درصدی میزان پرولین نسبت به شاهد شد. بین تیمار ۰/۵میلی‌مولار سالیسیلیک اسید و شاهد اختلاف معنی‌داری وجود نداشت، اما کاربرد ۱ میلی‌مولار سالیسیلیک اسید تأثیر معنی‌داری بر افزایش پرولین داشت به‌طوری‌که سبب افزایش ۳۷/۷ درصدی آن نسبت به شاهد شد. اثرات متقابل دما و سالیسیلیک اسید نشان داد کاربرد ۱ میلی‌مولار سالیسیلیک اسید در تمام تیمارهای دمایی سبب افزایش پرولین شد (جدول ۶).

جدول ٤- اثر غلظت‌های مختلف سالیسیلیک اسید بر خصوصیات فیزیولوژیکی دانهال‌های خیار رقم 'رشید' تحت تنش دمایی

Table 4- The effect of different concentrations of salicylic acid on the physiological characteristics of cucumber seedling cv. Rashid under temperature stress

سالیسیلیک اسید Salicylic acid (mM)	دما Temperature (°C) 25	30	35	40	میانگین Mean
	سطح برگ Leaf area (mm^2·plant^{-1})				
0	915.67 ^{AB}	917.67 ^{A}	872.67 ^{F}	850.67 ^{G}	889.17 ^{B}
0.5	909.67^{AB}	904.67 ^{BC}	889.67 ^{DF}	861.00 ^{G}	891.25 ^{B}
1	908.00 ^{AB}	916.33 ^{A}	894.00 ^{CD}	881.33 ^{EF}	899.92 ^{A}
میانگین Mean	911.11 ^{A}	912.89^{A}	885.44 ^{B}	864.33 ^{C}	
	شاخص کلروفیل Chlorophyll index (spad value)				
0	13.43 ^{ab}	12.83 ^{bc}	12.30 ^{cd}	8.67 ^{e}	11.8 ^{B}
0. 5	13.66 ^{ab}	13.00 $^{a-c}$	12.47 ^{c}	8.73 ^{e}	11.97 ^{B}
1	13.80 ^{a}	13.60 ^{ab}	12.90 $^{a-c}$	11.50 ^{d}	12.95 ^{A}
میانگین Mean	13.63 ^{A}	13.14 ^{A}	12.56 ^{B}	9.63^{C}	
	نشت یونی برگ Electrolyte leakage (%)				
0	20.06 ^{de}	20.43 $^{c-e}$	23.06 ^{c}	46.47 ^{a}	25 ^{A}
0. 5	20.00 ^{de}	20.43 $^{c-e}$	22.73 ^{cd}	35.80 ^{a}	24.74 ^{A}
1	19.35 ^{e}	19.53 ^{e}	20.33 $^{c-e}$	27.73 ^{b}	21.74 ^{B}
میانگین Mean	19.8 ^{C}	20.13 ^{C}	22.04 ^{B}	33.33 ^{A}	

در هر ستون میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشترک بر مبنای آزمون LSD در سطح احتمال ۵ درصد معنی‌دار نیستند.

In each column means with the same letter are not significantly different at 5% of probability level based on LSD test.

در فلفل (Taheri & Haghighi, 2018) و گوجه‌فرنگی (Jahan *et al*., 2019) با افزایش دما میزان پرولین برگ افزایش یافت که با نتایج پژوهش حاضر همسو بود. پرولین یکی از مکانیسم‌های دفاعی گیاهان در برابر تنش‌های محیطی می‌باشد که در هنگام تنش به علت تخریب پروتئین سینتتاز و عدم تبدیل پرولین به پروتئین تجمع می‌یابد.

جدول ۵- تجزیه واریانس اثر غلظت‌های مختلف سالیسیلیک اسید بر خصوصیات بیوشیمیایی دانهال‌های خیار رقم 'رشید' تحت تنش دمایی

Table 5- The ANOVA results for the effect of different concentrations of salicylic acid on the biochemical traits of cucumber seedling cv. Rashid under temperature stress

منابع تغییرات S.O.V	درجه آزادی Df	میانگین مربعات Mean squares: پرولین Proline	پلی‌فنل اکسیداز PPO	سوپراکسید دیسموتاز SOD
دما Temperature	3	0.86**	0.026*	25.77**
سالیسیلیک اسید Salicylic acid	2	2.27**	0.132**	18.55**
دما× سالیسیلیک اسید Temperature× Salicylic acid	6	0.10*	0.027**	7.62**
خطا Error	24	0.04	0.006	0.27
ضریب تغییرات C.V (%)	-	8.45	16.88	8.53

^{ns}، ** و * به‌ترتیب عدم معنی‌داری، و معنی‌دار در سطح احتمال ۱ و ۵ درصد.

^{ns}, ** and *: non-significant, and significant at $p≤0.01$ and $p≤0.05$, respectively.

پرولین ساختارهای پروتئینی و غشا سلولی را در برابر آثار مخرب یون‌های غیر آلی و تنش‌های دمایی حفظ می‌کند و گفته می‌شود به عنوان تجزیه‌کننده‌ی رادیکال هیدروکسیل عمل می‌نماید (Smirnoff *et al*., 2001). همچنین با توجه به نتایج پژوهش حاضر کاربرد ۱ میلی‌مولار سالیسیلیک اسید سبب افزایش پرولین شد در تأیید نتایج پژوهش حاضرکاربرد سالیسیلیک اسید در گوجه‌فرنگی (Jahan *et al*., 2019) و فلفل (Preet *et al*., 2023) تحت تنش گرما و توت‌فرنگی (Samadi *et al*., 2019) تحت تنش شوری سبب افزایش میزان پرولین شد.

پلی‌فنل اکسیداز: نتایج تجزیه واریانس نشان داد تأثیر دما بر فعالیت آنزیم پلی‌فنل اکسیداز در سطح احتمال پنج درصد معنی‌دار بود. تأثیر کاربرد سالیسیلیک اسید و اثرات متقابل دما و سالیسیلیک اسید نیز بر فعالیت آنزیم پلی‌فنل اکسیداز در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۵). مقایسه میانگین‌ها نشان داد بیشترین میزان فعالیت آنزیم پلی‌فنل اکسیداز در دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد رخ داد همچنین کاربرد سالیسیلیک اسید تأثیر مثبتی بر افزایش میزان فعالیت آنزیم پلی‌فنل اکسیداز داشت به‌نحوی‌که بالاترین میزان فعالیت این آنزیم مربوط به تیمار ۱ میلی‌مولار بود که سبب افزایش حدود ۱/۵ برابری آن نسبت به شاهد شد. اثرات متقابل دما و سالیسیلیک اسید نشان داد کاربرد ۱ میلی‌مولار سالیسیلیک اسید در دمای ۳۵ درجه سانتی‌گراد سبب افزایش حدود ۲/۵ برابری فعالیت آنزیم پلی‌فنل اکسیداز نسبت به شاهد شد (جدول ۶). طبق پژوهش‌های پیشین نیز در گوجه‌فرنگی دما بالا (۳۵ درجه سانتی‌گراد) سبب کاهش ۷۳ درصدی فعالیت آنزیم پلی فنل اکسیداز نسبت به تیمار شاهد (۲۵ درجه‌سانتی‌گراد) شد (Rivero, *et al*., 2001). کاربرد سالیسیلیک اسید در غلظت‌های مختلف سبب افزایش فعالیت آنزیم پلی‌فنل اکسیداز شد، نتایج این پژوهش با گزارشات طاهر و امی (Taher & Ami, 2022) همخوانی دارد که افزایش فعالیت آنزیم پلی‌فنل اکسیداز را در خیار تیمار شده با سالیسیلیک اسید گزارش کردند.

جدول ٦- اثر غلظت‌های مختلف سالیسیلیک اسید بر خصوصیات بیوشیمیایی دانهال‌های خیار رقم 'رشید' تحت تنش دمایی

Table 6- The effect of different concentrations of salicylic acid on the biochemical traits of cucumber seedling cv. under temperature stress

سالیسیلیک اسید Salicylic acid (mM)	دما Temperature (°C) 25	30	35	40	میانگین Mean
	پرولین Proline (µM.g^{-1} fw)				
0	1.60^{h}	2.26^{ef}	2.46^{b-e}	2.03 fg	2.09^{B}
0.5	1.80^{gh}	2.23^{ef}	2.36^{c-f}	2.30 d-f	2.17^{B}
1	2.63^{b-d}	2.70^{bc}	3.47^{a}	2.73 b	2.88^{A}
میانگین Mean	2.01^{C}	2.40^{B}	2.77^{A}	2.35^{B}	
	پلی‌فنل اکسیداز PPO (u.g^{-1} fw)				
0	0.53^{bc}	0.39^{def}	0.33^{ef}	0.27^{f}	0.38^{C}
0. 5	0.56^{bc}	0.43^{cde}	0.53^{bc}	0.45^{cde}	0.49^{B}
1	0.54^{bc}	0.47^{cd}	0.70^{a}	0.64^{ab}	0.59^{A}
میانگین Mean	0.54^{A}	0.43^{C}	0.52^{AB}	0.45^{BC}	
	سوپراکسید دیسموتاز SOD (u.g^{-1} fw)				
0	3.65^{f}	4.23^{f}	5.33^{de}	7.39^{b}	5.15^{C}
0. 5	3.41^{f}	5.43^{de}	7.74^{b}	6.20^{cd}	5.69^{B}
1	7.03^{bc}	5.20^{e}	6.34^{c}	11.53^{a}	7.52^{A}
میانگین Mean	4.70^{C}	4.95^{C}	6.47^{B}	8.37^{A}	

در هر ستون میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشترک بر مبنای آزمون LSD در سطح احتمال ۵ درصد معنی‌دار نیستند.

In each column means with the same letter are not significantly different at 5% of probability level based on LSD test.

سوپراکسید دیسموتاز: نتایج تجزیه واریانس بیانگر تأثیر معنی دار دما، سالیسیلیک اسید و اثرات متقابل دما و سالیسیلیک اسید بر فعالیت آنزیم سوپراکسید دیسموتاز در سطح احتمال یک درصد بود (جدول ۵). مقایسه میانگین‌ها نشان داد با افزایش غلظت کلرید سدیم فعالیت آنزیم سوپراکسید دیسموتاز افزایش یافت که بیشترین فعالیت در دمای ۴۰ درجه سانتی‌گراد رخ داد که نسبت به شاهد افزایش حدود ۲ برابری را نشان داد، همچنین کاربرد سالیسیلیک اسید در تمامی غلظت‌ها سبب افزایش معنی‌دار فعالیت آنزیم سوپراکسید دیسموتاز شد. اثرات متقابل دما و سالیسیلیک اسید نشان داد کاربرد ۱ میلی‌مولار سالیسیلیک اسید در دمای ۴۰ درجه سانتی‌گراد سبب افزایش حدود ۱/۵ برابری فعالیت آنزیم سوپراکسید دیسموتاز نسبت به شاهد شد (جدول ۶).

دما بالا باعث تولید رادیکال‌های آزاد اکسیژن می‌شود درحالی‌که آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی مانند سوپراکسید دیسموتاز (SOD)، رادیکال های آزاد سوپراکسید (O_2) را به پراکسید هیدروژن (H_2O_2) و اکسیژن تبدیل می‌کنند، سپس پراکسید هیدروژن توسط کاتالاز (CAT)، آسکوربات پراکسیداز (APX) و پراکسیداز (POX) تجزیه و به آب و اکسیژن تبدیل می‌شود (Preet *et al*., 2023). طبق گزارشات هنگال و همکاران (Hongal *et al*., 2023) در خیار تجمع مواد بیوشیمیایی مانند پرولین، پروتئین و آنتی‌اکسیدان‌هایی نظیر سوپراکسید دیسموتاز، کاتالاز و پراکسیداز مکانیسم‌های بیوشیمیایی اصلی برای تحمل دمای بالا هستند، که با نتایج حاصل از این پژوهش همخوانی دارد. کاربرد سالیسیلیک اسید سبب افزایش فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی مانند آسکوربات پراکسیداز، کاتالاز و سوپراکسید دیسموتاز در کاهو در شرایط تنش شوری شد که این افزایش برای آنزیم سوپراکسید دیسموتاز ۲۸ درصد بود (Kusvuran & Yilmaz, 2023). در فلفل دلمه‌ای کاربرد سالیسیلیک اسید با افزایش فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی نظیر سوپراکسید دیسموتاز، پراکسیداز، کاتالاز، و اسکوربات پراکسیداز سبب کاهش خسارت ناشی از دمای بالا شد که با نتایج پژوهش فوق همسو است (Preet *et al*., 2023).

نتیجه‌گیری

دماهای بالا سبب اختلال در رشد و عملکرد خیار شده همانطور که نتاج این آزمایش نشان داد دمای بالا سبب کاهش وزن تر و خشک ریشه و اندام هوایی، کاهش کلروفیل، سطح برگ و فعالیت آنزیم پلی فنل اکسیداز شد درحالی‌که کاربرد سالیسیلیک اسید سبب کاهش نشت یونی، افزایش میزان پرولین، پلی‌فنل اکسیداز و سوپراکسید دیسموتاز شد. بطور کلی بهترین نتاج مربوط به کاربرد ۱ میلی‌مولار سالیسیلیک اسید بود که با افزایش فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی سبب کاهش اثرات منفی تنش گرمایی بر خیار رقم رُشید و بهبود رشد آن شد.

References

1. Amirinejad, A.A., Sayyari, M., Ghanbari, F., & kordi, S. (2017). Salycilic acid improves salinity alkalinity tolerance in pepper (*Capsicum annuum* L.). *Advances in Horticultural Science*, *31*, 157-163. https://doi.org/10.13128/ahs-21954
2. Baninasab, B., & Ghobadi, C. (2011). Influence of Paclobutrazol and application methods on high-temperature stress injury in cucumber seedlings. *Journal of Plant Growth Regulation*, *30*(2), 213-219. https://doi.org/10.1007/s00344-010-9188-2
3. Bates, L., Waldren, R., & Teare, I. (1973). Rapid determination of free proline for water-stress studies. *Plant and Soil*, *39*, 205-207. https://doi.org/10.1007/BF00018060
4. Bayat, H., Mardani, H., Arouie, H., & Salahvarzi, Y. (2011). Effects of salicylic acid on morphological and physiological characteristics of cucumber seedling (*Cucumis sativus* cv. Super Dominus) under drought stress. *Journal of Plant Production*, *18*, 63-76. (In Persian with English abstract). httpd://doi.org/20.1001.1.23222050.1390.18.3.5.8
5. Bingwei, Y., Shuangshuang, Y., Huoyan, Z., Riyue, D., Jianjun, L., Changming, C., & Bihao, C. (2018). Overexpression of CsCaM3 improves high temperature tolerance in cucumber. *Frontiers in Plant Science*, *9*, 797. https://doi.org/10.3389/fpls.2018.00797
6. Chen, S., Zhao, C.B., Ren, R.M., & Jiang, J.H. (2023). Salicylic acid had the potential to enhance tolerance in horticultural crops against abiotic stress. *Frontiers in Plant Science*, *16*, 443-457. https://doi.org/10.3389/fpls.2023.1141918
7. Ding, X., Jiang, Y., Hao, T., Jin, H., Zhang, H., He, L., Zhou, Q., Huang, D., Hui, D., & Yu, J. (2016). Effects of heat shock on photosynthetic properties, antioxidant enzyme activity, and downy mildew of cucumber (*Cucumis sativus* L.). *PLoS One*, *11*, 4 e0152429. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0152429
8. Giannopolitis, C.N., & Ries, S.K. (1997). Superoxid dismutase. I. occurrence in higher plants. *Plant Physiology*, *59*, 309-314. https://doi.org/10.1104/pp.59.2.309

9. Hasanuzzaman, M.K., Nahar, M., Alam, R., Roychowdhury, & Fujita, M. (2013). Physiological, biochemical, and molecular mechanisms of heat stress tolerance in plant. *International Journal of Molecular Sciences*, *14*(5), 9643-9684. https://doi.org/10.3390/ijms14059643
10. Hongal, D., Raju, D., Kumar, S., Talukdar, A., Das, A., Kumari, K., Dash, P.K., Behera, T.K., Munshi, A.D., & Dey, S.S. (2023). Elucidating the role of key physio-biochemical traits and molecular network conferring heat stress tolerance in cucumber. *Frontiers in Plant Science, 20*, 498-512. https://doi.org/10.3389/fpls.2023.1128928
11. Jahan, M.S., Wang, Y., Shu, Sh., Zhong, M., Chen, Z., Wu, J., Sun, J., & Guo, Sh. (2019). Exogenous salicylic acid increases the heat tolerance in Tomato (*Solanum lycopersicum* L.) by enhancing photosynthesis efficiency and improving antioxidant defense system through scavenging of reactive oxygen species. *Scientia Horticulturae, 247*, 421-429. https://doi.org/10.1016/j.scienta.2018.12.047
12. Karlidag, H., Yildirim, E., & Turan, M. (2009). Salicylic acid ameliorates the adverse effect of salt stress on strawberry. *Scientia Agricola*, *66*, 180-187. https://doi.org/10.1590/S0103-90162009000200006
13. Khan, W., Prithiviraj, B., & Smith, D.L. (2003). Photosynthetic response of corn and soybean to foliar application of salicylates. *Journal of Plant Physiology*, *160*, 485-492. https://doi.org/10.1078/0176-1617-00865
14. Kusvuran, S., & Yilmaz, U.D. (2023). Ameliorative role of salicylic acid in the growth, nutrient content, and antioxidative responses of salt-stressed lettuce. *Acta Scientiarum Polonorum Hortorum Cultus*, *22*, 75-85.
15. Lutts, S., Kinet, J.M., & Bouharmon, J. (1996). NaCl-induced senescence in leave of rice (*Oryza sativa* L.) cultivars differing in salinity resistance. *Annals of Botany*, *78*, 389-398. https://doi.org/10.1006/anbo.1996.0134
16. Orabi, S.A., Salman, S.R., & Shalaby, M.A. (2010). Increasing resistance to oxidative damage in cucumber (*Cucumis sativus* L.) plants by exogenous application of salicylic acid and paclobutrazol. *World Journal of Agricultural Sciences*, *25*, 252-259.
17. Prasad, T.K. (1997). Role of catalase in inducing chilling tolerance in pre-emergance maize seedlings. *Plant Physiology*, *114*, 1369-1376. https://doi.org/10.1006/anbo.1996.0134
18. Preet, T., Ghai, N., Jindal, S.K., & SANGHA, M. (2023). Salicylic acid and 24-Epibrassinolide induced thermotolerance in bell pepper through enhanced antioxidant enzyme system and heat shock proteins. *Journal of Agricultural Science and Technology*, *25*, 171-183. https://doi.org/10.52547/jast.25.1.171
19. Rivero, R.M., Ruiz, J.M., Garcıa, P.C., Lopez-Lefebre, L.R., Sánchez, E., & Romero, L. (2001). Resistance to cold and heat stress: accumulation of phenolic compounds in tomato and watermelon plants. *Plant Science*, *160*, 315-321. https://doi.org/10.1016/S0168-9452(00)00395-2
20. Samadi, S., Habibi, G., & Vaziri, A. (2019). Effects of exogenous salicylic acid on antioxidative responses, phenolic metabolism and photochemical activity of strawberry under salt stress. *Iranian Journal of Plant Physiology*, *9*(2), 2685-2694. https://doi.org/10.30495/ijpp.2019.545950
21. Shakirova, F.M., Shakhabutdinova, A.R., Bezrukova, M.V., Fatkhutdinova, R.A., & Fatkhutdinova, D.R. (2003). Changes in the hormonal status of wheat seeding induced by salicylic acid and salinity. *Plant Sciences*, *164*, 317-322. https://doi.org/10.1016/S0168-9452(02)00415-6
22. Shi, Q., Bao, Z., Zhu, Z., Ying, Q., & Qian, Q. (2006). Effects of different treatments of salicylic acid on heat tolerance, chlorophyll flurescence and antioxidant enzyme activity in seedlings of *Cucumis sativa* L. *Plant Growth Regulation*, *48*, 127-135. https://doi.org/10.1007/s10725-005-5482-6
23. Smirnoff, N., Conklin, P.L., & Loewus, F.A. (2001). Biosynthesis of ascorbic acid in plants: a renaissance. *Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology*, *52*, 437-467. https://doi.org/10.1146/annurev.arplant.52.1.437
24. Soliva, R.C., Elez, P., Sebastián, M., & Martín, O. (2001). Evaluation of browning effect on avocado purée preserved by combined methods. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, *1*, 261-268. https://doi.org/10.1016/S1466-8564(00)00033-3
25. Sousa, V.F.O., Santos, A.S., Sales, W.S., Silva, A.J., Gomes, F.A.L., Dias, T.J., Gonçalves-Neto, A.C., Faraz, A., Santos, J.P.O., Santos, G.L. & Cruz, J.M.F.L. (2022). Exogenous application of salicylic acid induces salinity tolerance in eggplant seedlings. *Brazilian Journal of Biology* 24: 84-105 https://doi.org/10.1590/1519-6984.257739
26. Taher, I.E., & Ami, S.N. (2022). Inducing systemic acquired resistance (SAR) against root-knot nematode *Meloidogyne javanica* and evaluation of biochemical changes in cucumber root. *Helminthologia* 59 (4): 404-413. https://doi.org/10.2478/helm-2022-0042
27. Taheri, M. & Haghighi, M. (2018). Benzyl adenine is more effective than potassium silicate on decreasing the detrimental effects of heat stress in pepper (*Capsicum annum* cv. PS301). *Iran Agricultural Research* 37: 89-98. https://doi.org/10.22099/iar.2018.4890
28. Yildirim, E., Turan, M. & Guvenc, I. (2008). Effect of Foliar Salicylic Acid Applications on Growth, Chlorophyll, and Mineral Content of Cucumber Grown Under Salt Stress, *Journal of plant nutrition* 31 (3): 593-612. http://dx.doi.org/10.1080/01904160801895118

29. Yordanova, R. & Popova, L. (2007). Effect of exogenous treat with salicylic acid on photosynthetic activity and antioxidant capacity of chilled wheat plants. *Plant physiology* 33: 155-170. http://obzor.bio21.bas.bg/ipp/gapbfiles/v-33/07_3-4_155-170